

Utilización del Laboratorio Remoto eLab3D en la Enseñanza de la Electrónica Analógica

Sergio López, Antonio Carpeño, Jesús Arriaga y Mariano Ruiz

Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control

Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

Abstract— El laboratorio eLab3D, que utiliza dos tecnologías emergentes en el ámbito de la educación en ingeniería como son los laboratorios remotos y los entornos de aprendizajes inmersivos basados en mundos virtuales 3D, ha sido desarrollado para ser utilizado como un recurso educativo en la enseñanza de la electrónica analógica. Sus prestaciones permiten alcanzar a los estudiantes prácticamente los mismos resultados de aprendizaje que se consiguen en un laboratorio presencial. Este trabajo muestra el grado de adquisición de los objetivos de aprendizaje que pueden alcanzar los estudiantes en un laboratorio de electrónica mediante la utilización de eLab3D. Además se presentan los resultados obtenidos en una experiencia realizada con estudiantes de una titulación de grado de la Universidad Politécnica de Madrid en la que se ha evaluado la eficacia, a nivel de aprendizaje, al utilizar la plataforma eLab3D.

Index Terms— *remote laboratory, electronic experiments, engineering education, virtual worlds, eLearning*

I. INTRODUCCIÓN

El uso de las tecnologías emergentes al servicio de la educación es un asunto que se aborda de forma extendida en numerosas publicaciones relacionadas con la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje. En un informe realizado por la Academia Nacional de Ingeniería de Estados Unidos [1] centrado en cómo se debe preparar a los futuros ingenieros, se resalta cómo las nuevas tecnologías van a ser claves en la transformación de la educación posibilitando nuevos entornos de aprendizaje en los que es factible que se utilicen entornos inmersivos, mundos virtuales donde se trabaje con avatares y redes de aprendizaje. También en el reciente informe elaborado por el New Media Consortium [2] se señala que entre las tecnologías emergentes que más van a impactar en los próximos años en el ámbito educativo de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) se encuentran los laboratorios remotos y los entornos de aprendizaje inmersivos. Teniendo en cuenta estas tendencias tecnológicas es lógico plantearse que la fusión de los laboratorios remotos y los entornos inmersivos de aprendizaje pueden ser la base de la generación de versátiles recursos con un gran potencial educativo.

Desde el año 2010 estas dos tecnologías emergentes han sido utilizadas por el Grupo de Innovación en Metodologías para el Aprendizaje de la Electrónica (GIMAE) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) para desarrollar el laboratorio remoto eLab3D. Esta plataforma permite la realización de prácticas en el ámbito de la electrónica

analógica, a través de Internet en un entorno virtual 3D, en las que los estudiantes realizan las actividades prácticas controlando de forma remota instrumentos de laboratorio y realizando montajes de circuitos reales siguiendo los mismos procedimientos que llevarían a cabo en un laboratorio presencial. Los objetivos estratégicos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de eLab3D fueron los siguientes:

- a) Crear un recurso educativo flexible que permitiera a los estudiantes organizar el tiempo y el lugar para realizar las actividades de aprendizaje
- b) Optimizar el uso de los recursos disponibles en la universidad mejorando la eficiencia y eficacia de los procesos de aprendizaje sin deteriorar su calidad
- c) Facilitar al resto de la sociedad la posibilidad de poder utilizar recursos de elevadas prestaciones a los que no tienen fácil acceso

Respecto al estado del arte en el ámbito de los laboratorios remotos hay que destacar que el uso de esta tecnología no es reciente. Desde hace más de dos décadas los laboratorios remotos están siendo utilizados en el ámbito educativo en diferentes disciplinas de la ingeniería [3]. El concepto de laboratorio remoto está bastante extendido y se basa en la posibilidad de llevar a cabo experimentos de forma real a través de Internet [4]. En el ámbito de la enseñanza de la electrónica son diversos los laboratorios remotos que se pueden encontrar descritos en la literatura científica, ofreciendo diferentes posibilidades educativas dependiendo de los recursos hardware y software que utilizan [5]. Entre los laboratorios remotos más destacados por sus prestaciones hay que mencionar las plataformas VISIR [6] y NetLab [7] que utilizan interfaces de usuario 2D para realizar el montaje de los circuitos electrónicos y las conexiones con los instrumentos.

En cuanto a los entornos inmersivos de aprendizaje, y en concreto los basados en mundos virtuales 3D, es importante destacar las mejoras que aportan en aspectos educativos tan importantes como la interacción, colaboración, motivación o creatividad [8]. Estos beneficios junto a la disponibilidad de potentes herramientas que simplifican el desarrollo de mundos virtuales 3D como Opensim [9] están siendo claves para que esta tecnología comience a considerarse muy útil en los procesos formativos de la enseñanza secundaria y superior.

Aunque la utilidad educativa de los laboratorios remotos parece evidente, existe entre la comunidad educativa un importante debate relacionado con los resultados de aprendizaje que pueden ser alcanzados por los estudiantes al utilizar un laboratorio remoto en la enseñanza de disciplinas relacionadas con la ingeniería [10]. Los debates se centran

fundamentalmente en averiguar en qué medida los estudiantes, utilizando los laboratorios remotos, consiguen los resultados de aprendizaje que se deben alcanzar mediante la experimentación en los laboratorios. Este trabajo tiene como principal objetivo proporcionar una nueva aportación relacionada con el asunto mencionado anteriormente.

Para ello, una vez puesto en marcha el laboratorio eLab3D, se han realizado varias experiencias centradas en conocer sus posibilidades en el ámbito de la enseñanza de la electrónica analógica. En concreto se van a presentar los resultados de una de estas experiencias en la que se evalúa la adquisición de destrezas relacionadas con el manejo de los instrumentos de un laboratorio de electrónica por parte de estudiantes de una titulación de grado en la UPM.

Este artículo se ha estructurado en tres partes. En la primera parte se ofrece una breve descripción del laboratorio eLab3D centrada en presentar cómo puede trabajar el usuario en un puesto de laboratorio y en el funcionamiento global de la plataforma. En la segunda parte se refleja el grado con el que se podrían alcanzar los objetivos definidos para un laboratorio de electrónica analógica haciendo uso de eLab3D. Por último, se proporcionan los resultados obtenidos en la experiencia realizada con estudiantes del Grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones que se imparte en la UPM.

II. DESCRIPCION BASICA DE ELAB3D

El laboratorio eLab3D no se ha diseñado teniendo en cuenta solamente las posibilidades de las tecnologías involucradas en su desarrollo. Han sido precisamente los siguientes objetivos pedagógicos los que se han tomado como referencia para establecer las prestaciones de eLab3D:

- Generar una elevada sensación de realismo para que el estudiante perciba que está llevando a cabo las actividades de forma muy similar a como las realizaría de forma presencial.
- Permitir el trabajo colaborativo entre estudiantes y la interacción con los profesores para la resolución de dudas o la supervisión del aprendizaje
- Aumentar la motivación y el interés de los estudiantes para que el proceso de aprendizaje sea más eficaz
- Potenciar el aprendizaje activo para que las decisiones tomadas por estudiante repercutan positivamente en su aprendizaje
- Conseguir la adquisición de competencias prácticas muy similares a las que se deben alcanzar en un laboratorio presencial

La arquitectura básica de la plataforma eLab3D se muestra en la Fig. 1. El bloque clave de la misma es el Servidor Laboratorio que contiene las aplicaciones software y los elementos hardware que se han utilizado. El sistema hardware está formado por los instrumentos típicos de un laboratorio de electrónica (fuente de alimentación, generador de funciones, multímetro y osciloscopio) y un dispositivo (HwKit) que permite la implementación real de los circuitos electrónicos. Las aplicaciones software que se ejecutan en el Servidor Laboratorio son el mundo virtual 3D (Virtual Lab), que se ha desarrollado mediante la plataforma de código abierto Opensim, y los programas “Controlador LabView” y “Servicio

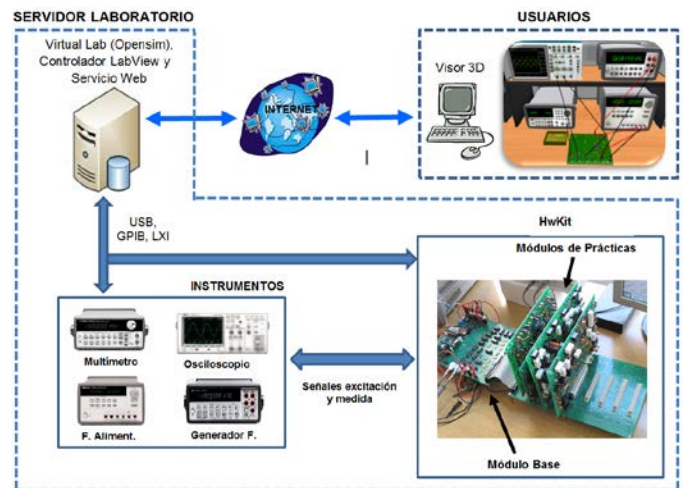


Fig.1. Arquitectura básica de la plataforma eLab3D

Web”, desarrolladas mediante el entorno de programación LabVIEW de National Instruments. Respecto a los usuarios para poder acceder al mundo virtual (Virtual Lab) sólo necesitan un visor 3D de acceso libre (Firestorm, Kokua, etc.). Los detalles sobre la interacción de todos los componentes hardware y software mencionados anteriormente pueden ser consultados en una publicación previa [11].

A. Actividad de los usuarios

La actividad de los usuarios en el laboratorio eLab3D es muy parecida a la que realizan en un laboratorio de electrónica presencial. Los usuarios disponen de puestos de trabajo, como el que se muestra en la Fig. 2, en los que pueden realizar las acciones que se indican a continuación:

- Seleccionar la placa de pruebas donde montará el circuito con el que vaya a experimentar. En la actualidad existen placas disponibles para montar circuitos con componentes pasivos, diodos, transistores y amplificadores operacionales
- Seleccionar los componentes necesarios e insertarlos en los lugares elegidos de la placa para completar el montaje del circuito. Las placas de pruebas están preparadas para que se puedan montar configuraciones de circuitos cuyo funcionamiento no sea correcto debido a algún error producido en el diseño, al igual que puede ocurrir en un laboratorio real. La aplicación Virtual Lab supervisa que el usuario no realice conexiones en las placas de pruebas que puedan causar algún daño a los equipos o al sistema hardware.
- Elegir y conectar los cables entre los instrumentos y la placa de pruebas.
- Programar los instrumentos de excitación y medida para poder verificar el funcionamiento del circuito montado.

Las acciones descritas muestran un modo de operación prácticamente idéntico al que se realiza en un laboratorio presencial.

Además, gracias a las herramientas de comunicación que posee la plataforma, el usuario también puede trabajar de forma colaborativa con otros compañeros que estén ocupando otros puestos de laboratorio o consultar dudas al profesor en horarios de tutorías virtuales.



Fig.2. Puesto de laboratorio en eLab3D

Por último es importante destacar que la plataforma permite registrar todas las acciones que realiza un usuario en diferentes sesiones sobre un puesto de trabajo, lo cual es muy útil para poder evaluar el trabajo del estudiante.

B. Funcionamiento global

El funcionamiento de la plataforma se muestra de forma gráfica en la Fig. 3 suponiendo que un usuario está trabajando en el Virtual Lab con la placa de pruebas que permite experimentar con un amplificador inversor basado en un

amplificador operacional. Se ejecutan de forma secuencial tres tareas cada vez que se reciba una solicitud por parte del usuario que suponga alguna interacción con los elementos hardware reales. Dicha solicitud se traslada, mediante una petición HTTP, desde el Virtual Lab hacia el Servicio Web y el Controlador LabView. La primera tarea que se lleva a cabo consiste en configurar el HwKit en función del montaje realizado por el usuario en la placa de pruebas del mundo virtual. La segunda tarea realiza la configuración de todos los instrumentos en función del estado en el que se encuentren en el puesto de laboratorio del usuario. La tercera tarea se encarga de obtener las medidas en función de las conexiones realizadas en los puntos de test de la placa de pruebas utilizada por el usuario en el mundo virtual. El tiempo típico en ejecutarse estas tres tareas es de 1,3 segundos.

El laboratorio eLab3D ha sido diseñado para permitir el acceso simultáneo de varios usuarios a los recursos hardware disponibles. Es decir, varios usuarios, en la versión actual hasta once, pueden estar ocupando diferentes puestos de laboratorio realizando, al mismo tiempo, diferentes tipos de prácticas sobre un único sistema hardware. En el caso de existir varios usuarios trabajando de forma simultánea, la plataforma atiende las peticiones de cada usuario siguiendo una secuencia tipo FIFO (first input first output).

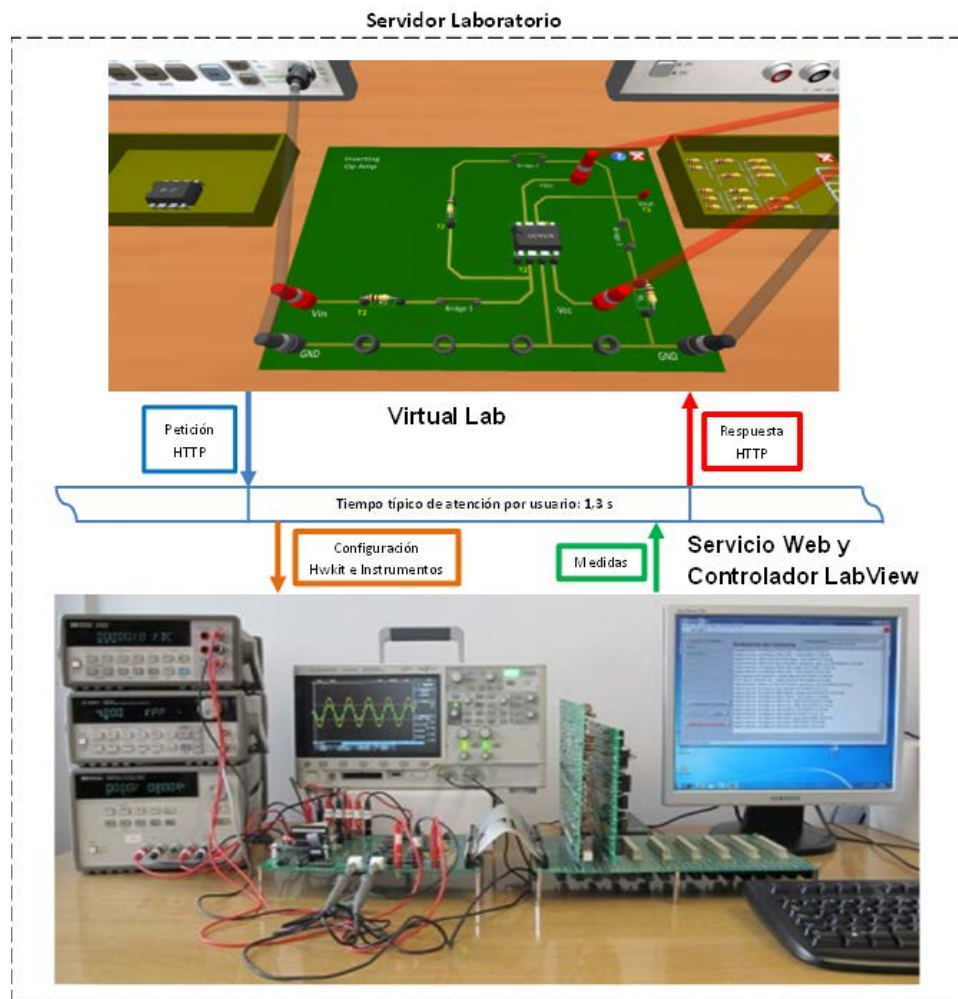


Fig.3. Funcionamiento de la plataforma eLab3D

III. RESULTADOS DE APRENDIZAJE A ALCANZAR EN LOS LABORATORIOS

Para poder analizar la posible efectividad educativa de los laboratorios remotos es necesario tener claros cuáles son los resultados de aprendizaje que se deben adquirir en un laboratorio de ingeniería. Respecto a este asunto no existe un consenso claro en el ámbito educativo y, por tanto, no se dispone de un listado oficial donde queden reflejados dichos resultados de aprendizaje. Existen algunos trabajos que han tratado este asunto y han definido los resultados de aprendizaje que se deben alcanzar en un laboratorio de ingeniería [12]. Para analizar la efectividad de la plataforma eLab3D se van a tomar como referencia los trece objetivos que Feisel y Rosa propusieron para los laboratorios de ingeniería.

Al analizar esta lista de objetivos es posible observar la existencia de tres dominios a los que se pueden asignar todos ellos, el dominio cognitivo (Instrumentación, Modelos, Experimento, Análisis de datos y Diseño), el dominio psicomotriz (Psicomotricidad y Conocimiento sensorial) y el dominio afectivo (Aprender de los Fallos, Creatividad, Seguridad, Comunicación, Trabajo en equipo y Ética en el laboratorio). Al respecto de esta diferenciación en dominios conviene indicar que son muchos los expertos educativos que coinciden en determinar que estos tres dominios son la piedra angular en la que se sustenta la formación de cualquier ingeniero.

Una vez declarados los objetivos y teniendo en cuenta que se deben particularizar para un laboratorio de electrónica analógica se va a proceder a analizar, en base a las opiniones de los profesores del Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control de la UPM que imparten asignaturas en el área de la electrónica analógica, el grado en que se pueden conseguir los mismos haciendo uso de la plataforma eLab3D.

- *Instrumentación.* En la Fig. 2 se puede observar cómo el estudiante va a disponer de los típicos instrumentos de laboratorio de electrónica para poder establecer las excitaciones y realizar las medidas necesarias para comprender el funcionamiento de diferentes circuitos analógicos. Grado de alcance del objetivo: Total.
- *Modelos.* En eLab3D se trabaja con componentes reales y, por tanto, se pueden identificar las limitaciones de los modelos de funcionamiento teóricos de dichos componentes. Grado de alcance del objetivo: Total.
- *Experimentación.* Es factible la aplicación en cualquier práctica de los procedimientos típicos necesarios para caracterizar el comportamiento de un circuito electrónico, tales como la elección de los instrumentos, cables y componentes adecuados, la selección de la placa de pruebas la interconexión de todos los a elementos, etc. Grado de alcance del objetivo: Total.
- *Análisis de datos.* Los diferentes equipos disponibles proporcionan la información necesaria, a nivel de formas de onda, valores numéricos y unidades que facilitan la obtención de conclusiones sobre el experimento realizado. Grado de alcance del objetivo: Total.
- *Diseño.* La mayoría de las placas de pruebas disponibles en la plataforma eLab3D permiten la configuración de diferentes topologías de circuitos analógicos. Por ejemplo en una de las placas que permite hacer pruebas con un amplificador operacional se pueden construir una amplia gama de circuitos como un amplificador inversor, un sumador, un filtro paso bajo, etc. Por tanto el usuario dispone de la posibilidad de poder diseñar diferentes tipos de circuitos atendiendo a una serie de especificaciones y probar el grado de cumplimiento de las mismas. Grado de alcance del objetivo: Total.
- *Aprendizaje a partir del fallo.* Las placas de pruebas disponibles en la plataforma permiten la construcción de circuitos con errores de diseño, siempre que no produzcan daños en el hardware, y además existen placas con circuitos contruidos que poseen algún tipo de fallo para que los usuarios puedan practicar la detección de averías. Grado de alcance del objetivo: Total.
- *Creatividad.* Cada placa de pruebas, dentro de un limitado rango de posibilidades, permite al usuario crear sus propios circuitos. Evidentemente el usuario no es libre de construir cualquier tipo de circuito. Grado de alcance del objetivo: Parcial.
- *Psicomotricidad.* En la plataforma eLab3D el usuario a través de su avatar opera con los equipos, cables y componentes de forma casi idéntica a como lo haría en un laboratorio presencial. Por razones de seguridad y complejidad algunas acciones no pueden realizarse. Grado de alcance del objetivo: Parcial.
- *Seguridad.* Determinadas operaciones en la plataforma no están permitidas para proteger el sistema hardware o los instrumentos. Por ejemplo, si se desea medir corriente con el multímetro y el usuario intenta conectar los cables en los terminales incorrectos se avisa al usuario de que esa conexión no es correcta ya que podría producir un daño en el multímetro. Con estos mensajes de aviso el usuario es consciente de que se deben cumplir siempre ciertas normas de seguridad en el laboratorio. Grado de alcance del objetivo: Parcial.
- *Comunicación.* La plataforma tiene integrada herramientas de comunicación mediante chat y por voz permitiendo en todo momento establecer conversaciones entre los estudiantes o con los profesores. Son herramientas muy útiles para resolver dudas o para realzar por parte de los profesores tareas de evaluación relacionadas con la realización de las prácticas. Grado de alcance del objetivo: Total.
- *Trabajo en equipo.* La plataforma eLab3D permite el trabajo colaborativo. Varios usuarios pueden rodear un puesto de laboratorio y entre todos ir realizando un determinado experimento comunicándose a través del chat o por voz. Grado de alcance del objetivo: Total.
- *Ética en el laboratorio.* Los comportamientos incívicos son evitados en la plataforma al no permitirse que un usuario moleste a otro mientras trabaja en un puesto de laboratorio. Por otra parte es importante destacar que la plataforma registra todas las acciones que un determinado usuario realiza en cada sesión de prácticas. Aunque este registro de acciones tiene principalmente otros propósitos también es útil para detectar posibles engaños respecto a la actividad del usuario. Grado de alcance del objetivo: Parcial.
- *Conocimiento sensorial.* El usuario sólo utiliza el sentido de la vista al trabajar con la plataforma, no es posible que

utilice por el momento el resto de sentidos. Grado de alcance del objetivo: Mínimo.

El análisis realizado muestra que la mayoría de los objetivos especificados para un laboratorio de electrónica se pueden alcanzar con el uso de la plataforma eLab3D de forma total o parcial.

IV. EXPERIENCIAS DESARROLLADAS

Para comprobar la utilidad docente de la plataforma eLab3D desde su puesta en marcha se planificaron diferentes experiencias. En el primer semestre del curso 2012-13 se llevaron a cabo estudios de percepción de uso en los que participaron estudiantes, profesores universitarios y de enseñanza secundaria y profesionales no docentes del ámbito de las telecomunicaciones. Los resultados que se obtuvieron en dichos estudios fueron muy positivos en cuanto a la valoración de factores como la facilidad de utilización, fiabilidad de la plataforma, percepción de inmersión, aprendizaje percibido y utilidad y satisfacción con la plataforma [11]. La siguiente experiencia, centrada ya en analizar el aprendizaje de los estudiantes con el uso de eLab3D, se realizó en el marco de la asignatura Electrónica Analógica I del Grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones que se imparte en la UPM y es la que se describe en detalle en este apartado.

En cuanto al modo de introducir el uso de laboratorios remotos en un curso académico no existen pautas o criterios claros que establezcan el grado de integración de dicho recurso en el programa de una asignatura [13]. Teniendo en cuenta que se pretende utilizar eLab3D como un recurso educativo complementario dentro de una enseñanza presencial, no como un sustitutivo de la misma, el colectivo de profesores de la asignatura decidió que la experiencia se centrara solamente en la primera práctica programada en la asignatura.

A. Objetivo de la experiencia

Se pretendía realizar un estudio comparativo que permitiera valorar el grado de adquisición de los resultados de aprendizaje previstos en la práctica entre los estudiantes que habían realizado la actividad de forma presencial y los que la habían realizado online mediante la plataforma eLab3D.

B. Descripción de la experiencia

La experiencia se llevó a cabo en el segundo semestre del curso 2012-13 y se realizó en asignatura Electrónica Analógica I. En la asignatura estaban matriculados 85 estudiantes y realizaron la práctica 74. Los estudiantes estuvieron distribuidos en ocho grupos de laboratorio, cuatro presenciales y cuatro online. Los profesores que participaron en la experiencia fueron cuatro.

La práctica tiene como objetivo básico afianzar el manejo de las herramientas que se van a utilizar durante el desarrollo del laboratorio de la asignatura. Los resultados de aprendizaje que debían alcanzar los estudiantes tras la realización de la práctica eran los siguientes

- Fuente de alimentación
 - ✓ Identificar las salidas de las fuentes de tensión ajustables y fijas disponibles
 - ✓ Seleccionar de forma adecuada los diferentes modos de funcionamiento que posee la fuente.
 - ✓ Programar el voltaje y limitación de corriente de cada

una de las fuentes de tensión disponibles

- Multímetro
 - ✓ Identificar los conectores de entrada y en cuáles de ellos se deben conectar los cables en función del tipo de medida a realizar
 - ✓ Seleccionar de forma adecuada los posibles tipos de medida básicos que se pueden realizar (resistencia, voltaje continuo y alterno, corriente continua y alterna y frecuencia o periodo)
 - ✓ Conectar de forma adecuada el multímetro al realizar medidas de resistencia, voltaje o corriente en un circuito evitando posibles daños al mismo
- Generador de funciones
 - ✓ Identificar el conector de salida
 - ✓ Seleccionar la forma de onda a generar
 - ✓ Programar los parámetros de configuración y los valores de la forma de onda a generar
 - ✓ Configurar el modo de salida y cómo se activa la misma
- Osciloscopio
 - ✓ Identificar los conectores de entrada de los diferentes canales
 - ✓ Conectar y configurar las sondas correspondientes a cada canal
 - ✓ Configurar las opciones correspondientes a cada canal relacionadas con la resolución (V/div), posición de la referencia, acoplamiento y atenuación de la sonda
 - ✓ Configurar la base de tiempos y las opciones relacionadas con el trigger (fuente de disparo, flanco y nivel) para la correcta visualización de las señales

Las actividades que debía realizar cada estudiante de forma individual fueron las siguientes:

- a) Realización de un tutorial sobre el manejo de los instrumentos de laboratorio. En dicho tutorial se especificaba el funcionamiento básico de cada uno de los instrumentos del laboratorio y se proponían diferentes acciones sobre un sencillo circuito divisor de tensión para hacer uso de dichos instrumentos. El tutorial para el grupo de estudiantes que realizaron la práctica online tenía una extensión mayor ya que en él se incluían una serie de apartados donde se explicaban asuntos relacionados con la instalación del visor 3D, el acceso al mundo virtual, el manejo del avatar y una descripción del laboratorio eLab3D. Para realizar los tutoriales en la guía de aprendizaje de la asignatura se planificaron cuatro horas de trabajo en el aula de laboratorio para los estudiantes de los grupos presenciales (en horarios de libre acceso) o en cualquier lugar para los estudiantes de los grupos online.
- b) Realización de una prueba práctica en presencia de un profesor para evaluar los resultados de aprendizaje definidos en la práctica.

C. Datos recogidos

Para llevar a cabo el estudio comparativo previsto se obtuvieron los siguientes datos:

- Calificaciones de una prueba individual de conocimientos previos (PCP) relacionados con el manejo de los instrumentos de laboratorio. Esta prueba se realizó de forma escrita con anterioridad a la realización de la práctica. Se pretendía con ella detectar el grado de

conocimientos que tenían los estudiantes sobre el funcionamiento básico de los instrumentos de laboratorio que han utilizado en las asignaturas cursadas con anterioridad a Electrónica Analógica I.

- Tiempos de dedicación a la realización de los tutoriales. Para los estudiantes de los grupos presenciales se contabilizó el número de horas en las que accedieron, en libre acceso, al laboratorio (no era posible contabilizar el tiempo real de trabajo). Para los estudiantes de los grupos online se revisaron los registros de actividades de cada alumno que genera la plataforma eLab3D que reflejan el trabajo real.
- Calificaciones de la prueba de evaluación práctica (PE) realizada a cada estudiante por los profesores de forma presencial. Esta prueba individual permitía valorar el grado de adquisición de los resultados de aprendizaje previstos en la práctica.
- Cuestionarios realizados por los estudiantes tras la realización de la práctica.

D. Análisis de los resultados

En primer lugar se intentó analizar si la distribución de los estudiantes, realizada por la comisión de ordenación académica del centro, en los diferentes grupos de laboratorio había sido homogénea considerando los conocimientos previos de los estudiantes. En la Fig. 4 se muestran los resultados obtenidos por los estudiantes en la prueba PCP sobre el manejo de los instrumentos de laboratorio.

Sobre los resultados obtenidos se pudo observar que había un 11,5% más de estudiantes de los grupos online que no habían superado la PCP respecto a los estudiantes de los grupos presenciales. Aunque no era una diferencia muy elevada este hecho reflejó que los grupos online y presenciales no fueron totalmente homogéneos respecto a los conocimientos iniciales.

En segundo lugar se analizaron los resultados obtenidos en la PE realizada de forma presencial a cada estudiante. En la Fig. 5 se muestran dichos resultados.

Los resultados obtenidos revelaron que la tasa de estudiantes de grupos online que no habían superado la prueba era un 17,5% superior a la de los estudiantes de grupos presenciales. También se observó que el porcentaje de estudiantes de los grupos online y presencial que habían obtenido una calificación entre 7,5 y 10 puntos era prácticamente el mismo. Para buscar una posible causa que justificase la diferencia en las tasas

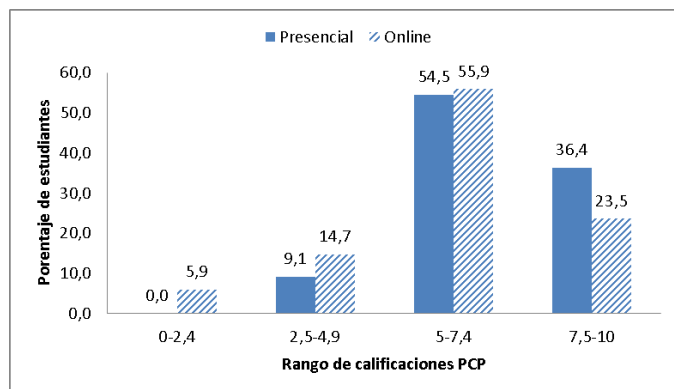


Fig. 4. Distribución de calificaciones de los estudiantes de los grupos presenciales y online en la PCP

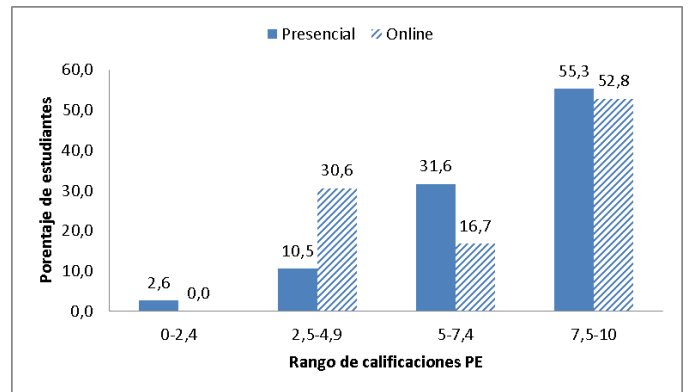


Fig. 5. Distribución de calificaciones de los estudiantes de los grupos presenciales y online en la PE

de aprobados entre los grupos presenciales y online se decidió analizar los tiempos dedicados por los estudiantes de ambos grupos a la realización de los tutoriales. En la Fig. 6 se muestra el tiempo medio dedicado por los estudiantes a la realización de los tutoriales.

Los resultados obtenidos reflejan, respecto a los estudiantes de los grupos online, que el tiempo dedicado a la realización de los tutoriales por parte de los estudiantes que no han superado la PE es bastante inferior al que han dedicado aquellos estudiantes que sí la han superado. Un análisis de los registros de actividades de los estudiantes de los grupos online que genera la plataforma eLab3D reveló que la mayoría de los estudiantes que suspendieron no habían completado el tutorial. Estos hechos pueden ser claves para justificar la mayor tasa de suspensos entre los estudiantes de los grupos online.

Otro aspecto destacable que se extrae de la Fig. 6 es que los estudiantes de los grupos online que aprobaron la PE dedicaron más tiempo para completar el tutorial que los estudiantes de los grupos presenciales, aunque no por encima del tiempo previsto para realizar esta tarea que era de cuatro horas. Este hecho, lógico porque el tutorial para los grupos online era más extenso que el de los grupos presenciales, era un aspecto que los estudiantes debían valorar, al completar el cuestionario tras finalizar la experiencia, teniendo en cuenta las ventajas de un laboratorio remoto en cuanto a accesibilidad y disponibilidad.

Para finalizar el estudio comparativo se decidió analizar si existieron diferencias significativas respecto al aprendizaje entre los estudiantes de los grupos presenciales y los de los

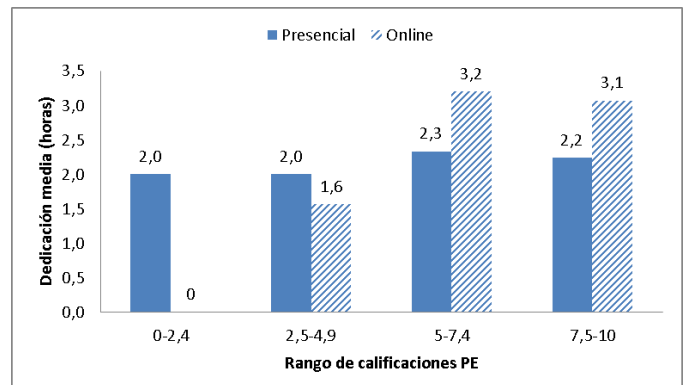


Fig. 6. Dedicación temporal de los estudiantes a la realización de los tutoriales en función de las calificaciones obtenidas en la PE

grupos que habían utilizado la plataforma eLab3D. Para ello se compararon las calificaciones obtenidas por los estudiantes en la PCP y en la PE para determinar el porcentaje de estudiantes que las habían mejorado. En la Fig. 7 se muestran los resultados obtenidos.

Los resultados reflejan que la diferencia entre los porcentajes de mejora obtenidos por los estudiantes de los grupos presenciales y online no es muy significativa por lo que se puede deducir que el uso de la plataforma eLab3D alcanzó una eficacia muy parecida a la conseguida con el uso de los laboratorios presenciales. Sobre la diferencia observada hay que tener en cuenta, como se indicó anteriormente, que los grupos presenciales y online no eran homogéneos atendiendo al nivel de conocimientos previos.

Respecto a los cuestionarios que completaron los estudiantes de los grupos presenciales y online también se extrajeron resultados interesantes. Las cuestiones que se plantearon a los estudiantes relacionados con su aprendizaje percibido fueron las siguientes (las respuestas se valoraron entre 1 –nada de acuerdo- y 5 –totalmente de acuerdo-):

- Q1. He mejorado mi comprensión de los aspectos teóricos asociados a las mediciones de corrientes, tensiones, etc., que se abordan en la práctica
- Q2. Las habilidades adquiridas me facilitarán la realización de las prácticas posteriores del laboratorio
- Q3. He mejorado mis habilidades para un manejo básico de los instrumentos de laboratorio
- Q4. He mejorado mi habilidad para realizar la interconexión de sondas, conectores, etc., de forma adecuada
- Q5. He mejorado mi comprensión sobre el montaje de circuitos electrónicos a partir del esquema del mismo
- Q6. He mejorado mi comprensión sobre el procedimiento de experimentación con circuitos electrónicos (análisis teórico, montaje, prueba y verificación del funcionamiento)

En la Fig. 8 se muestran las valoraciones medias realizadas por los estudiantes a cada una de las cuestiones.

Al analizar las valoraciones obtenidas sobre el aprendizaje percibido se observó que las mismas no ofrecían unas diferencias muy grandes entre los estudiantes de los grupos online y los grupos presenciales, lo cual sirvió de base para apoyar la idea de que el uso de la plataforma eLab3D fue percibido como un recurso útil para el aprendizaje. Aunque las

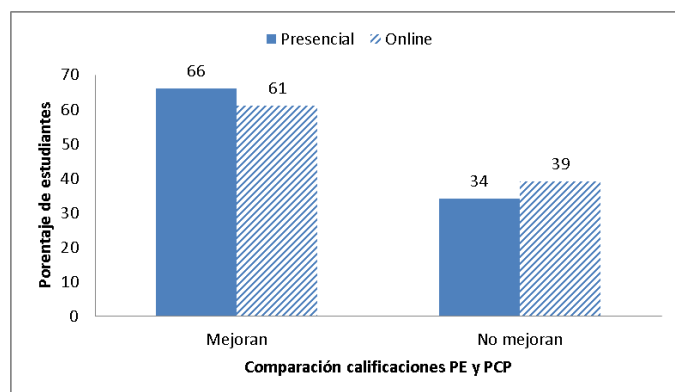


Fig. 7. Porcentaje de estudiantes que mejoraron sus calificaciones respecto a la PCP.

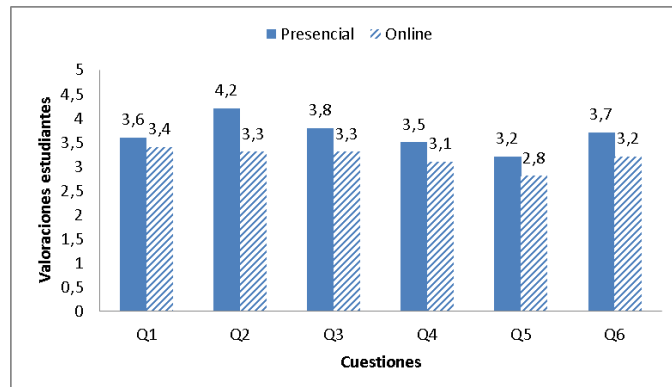


Fig. 8. Valoraciones medias de los estudiantes a las cuestiones relacionadas con el aprendizaje percibido

diferencias entre los grupos presenciales y online no son muy elevadas están previstos análisis más detallados como trabajo futuro para evaluar la influencia en los resultados de aquellos estudiantes de grupos online que no completaron el tutorial. Sí es necesario destacar que la mayor diferencia en las valoraciones entre los estudiantes de los diferentes grupos se observó en la cuestión Q2. Dicha variación podría estar justificada por el hecho de que en el resto de prácticas que iban a realizarse en la asignatura ya no se iba a utilizar la plataforma eLab3D.

Además de las cuestiones anteriores se solicitó a los estudiantes su opinión justificada sobre sus preferencias respecto al modo de realizar la práctica entre tres opciones:

- a) Sólo de modo presencial
- b) Sólo de modo online
- c) Modo mixto, es decir, la realización del tutorial online, con la posibilidad de acceder al laboratorio presencial

En la Fig. 9 se muestran las preferencias de los estudiantes en cuanto al modo de realizar la práctica.

El análisis de los resultados obtenidos sobre la modalidad preferida a la hora de realizar la práctica reveló que los estudiantes consideraron esencial el acceso a un laboratorio presencial. Este hecho se ajusta totalmente a los resultados obtenidos en otras experiencias donde se han utilizado laboratorios remotos en el área de la enseñanza de la electrónica [6]. También se observó que los estudiantes de los grupos online valoraron positivamente las posibilidades de aprendizaje de la plataforma online al elegir en mayor medida

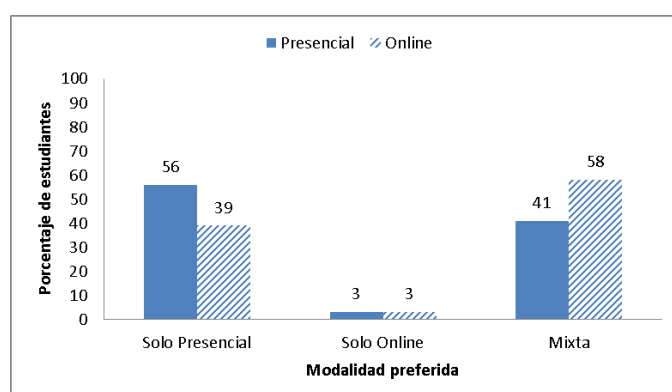


Fig. 9. Modalidad preferida por los estudiantes para realizar la práctica

la modalidad mixta. Además es importante destacar, como aspecto positivo hacia las posibilidades de la plataforma eLab3D, que un 41% de los estudiantes de los grupos presenciales, que no utilizaron la plataforma online, eligieran la modalidad mixta. Estos resultados se alinean con el objetivo perseguido por el colectivo de profesores de la asignatura en cuanto a que la plataforma eLab3D debe ser un complemento a la enseñanza desarrollada en los laboratorios presenciales.

Por último hay que remarcar un hecho que pudo influir en las respuestas de los estudiantes de los grupos online sobre las valoraciones de aprendizaje percibido y en la elección de la modalidad de aprendizaje, sobre todo a la hora de elegir sólo la modalidad presencial. En concreto al analizar las justificaciones sobre la modalidad preferida para realizar la práctica se descubrió que algunos estudiantes de los grupos online manifestaron su malestar ante el hecho de que la realización del tutorial online requiriera una dedicación mayor comparada con el tiempo necesario para realizar el tutorial presencial.

Tras analizar de forma global todos los resultados de la experiencia y tener en cuenta la opinión de los profesores que participaron en la misma, se tomaron las siguientes decisiones con el fin de mejorar la integración de eLab3D en las asignaturas con contenidos en el área de la electrónica analógica:

- Realizar siempre una presentación presencial de la plataforma explicando todos los aspectos claves relacionados con la misma para reducir el tiempo de dedicación de los estudiantes y extensión del tutorial online.
- Aplicar el uso de eLab3D a un mayor número de prácticas de una asignatura para que el esfuerzo inicial dedicado al manejo de la plataforma no sea visto por los estudiantes como un inconveniente. Ese esfuerzo inicial se verá compensado a posteriori con las ventajas de accesibilidad y disponibilidad inherentes a un laboratorio remoto.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El laboratorio eLab3D es una plataforma pionera que se ha desarrollado mediante la fusión de dos de las tecnologías emergentes que más van a impactar en el ámbito educativo de la ingeniería, los laboratorios remotos y los mundos virtuales 3D. Su utilización en varias experiencias educativas llevadas a cabo con estudiantes, junto a la opinión de los profesores que han colaborado en el diseño y desarrollo de las mismas, reflejan que eLab3D es un recurso que puede resultar muy útil en la enseñanza de la electrónica en diferentes niveles educativos. Asimismo eLab3D puede ser una herramienta con prestaciones muy útiles para el aprendizaje permanente (*life-long learning*) y el ámbito industrial.

En la actualidad eLab3D se encuentra integrado en la red de laboratorios virtuales y remotos gestionada por el Gabinete de Tele-Educación de la UPM, un proyecto que tiene como fin establecer redes de aprendizaje basadas en entornos virtuales 3D con otras instituciones universitarias y centros de enseñanza secundaria a nivel nacional e internacional.

Como trabajo futuro están previstas acciones dirigidas a la realización de nuevas experiencias de uso en las que además participen nuevas instituciones de enseñanza superior y secundaria y a la ampliación del sistema hardware

desarrollando nuevas placas de pruebas para poder realizar prácticas con más circuitos electrónicos.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de eLab3D ha sido posible gracias a los recursos obtenidos en los proyectos IE095590521, IE105905148 e IE121359002 vinculados a las convocatorias de “Ayudas a la innovación educativa y a la mejora de la calidad de la enseñanza” de la UPM y al apoyo del Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control. Asimismo los autores desean expresar su agradecimiento por su colaboración a los becarios Daniel Contreras, José Salazar y Miguel Barras, al Servicio de Innovación Educativa, y particularmente a Raquel Portaencasa, al Gabinete de Tele-Educación y a los profesores Guillermo de Arcas y Eduardo Barrera del Grupo de Investigación en Instrumentación y Acústica Aplicada de la UPM.

REFERENCIAS

- [1] Committee on the Engineer of 2020, Phase II, Committee on Engineering Education, National Academy of Engineering, *Educating the Engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century*. Washington, DC: The National Academies Press, 2005, pp. 35-37.
- [2] L. Johnson, S. Adams, V. Estrada, and S. Martín. (2013). Technology Outlook for STEM+ Education 2013-2018: An NMC Horizon Project Sector Analysis. The New Media Consortium, Austin, Texas. [Online]. Available: <http://www.nmc.org/pdf/2013-technology-outlook-for-STEM-education.pdf>
- [3] J. García-Zubía y G. Alves (eds.), *Using Remote Labs in Education*, University of Deusto, Bilbao, 2011.
- [4] L. Gomes and S. Bogosyan, “Current trends in remote laboratories”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 12, pp. 4744-4756, Dec. 2009.
- [5] J. Garcia-Zubia, U. Hernandez-Jayo, I. Angulo, D. Lopez-de-Ipiña, P. Orduña, J. Irurzun, and O. Dziabenko, “LXI Technologies for remote labs: an extension of the VISIR project,” *Int. J. Online Eng.*, vol. 6, Special Issue 1: REV 2010, pp. 25-35, Sep. 2010.
- [6] M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martín, R. Gil, G. Díaz, J. Peire, M. Castro, K. Nilsson, J. Zackrisson, L. Hakansson, and I. Gustavsson, “Virtual instrument systems in reality (VISIR) for remote wiring and measurement of electronic circuits on breadboard,” *IEEE Trans. on Learning Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 60-72, Mar. 2013.
- [7] Z. Nedic and J. Machotka, “Remote laboratory NetLab for effective teaching of 1st year engineering students,” *Int. J. Online Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 1-6, 2007.
- [8] B. Eschenbrenner, F. Nah, and K. Siau, “3-D Virtual Worlds in Education: Applications, Benefits, Issues, and Opportunities,” *J. Database Manag.*, vol. 19, no. 4, pp. 91-110, 2008.
- [9] Opensimulator [Online]. Available: http://opensimulator.org/wiki/Main_Page
- [10] E. D. Lindsay and P. C. Wankat, “Going the way of the slide rule: can remote laboratories fungibly replace the in-person experience,” *Int. J. Engng. Ed.*, vol. 28, no. 1, pp. 192-201, 2012.
- [11] S. López, A. Carpeño, J. Arriaga, G. de Arcas, D. Contreras, J. Salazar y M. Barras, “Laboratorio remoto eLab3D: un entorno innovador para el aprendizaje de competencias prácticas en electrónica”, in *Proc. 2nd CINAIC*, Nov. 6-8, pp 41-46, 2013.
- [12] L. Feisel and A. Rosa, “The role of the laboratory in undergraduate engineering education”, *Journal of Engineering Education*, vol. 94, no. 1, pp. 121-130, Jan. 2005.
- [13] M. Cooper, “Remote laboratories in teaching and learning—issues impinging on widespread adoption in science and engineering education” *Int. J. of Online Engineering* vol.1, no 1 2005